

На правах рукописи

ОРЕХОВ ДМИТРИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Специальность: 05.13.12 - Системы автоматизации проектирования
(в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Брянск 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент Аверченков Андрей Владимирович

Официальные оппоненты: Феофанов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», профессор кафедры «Инженерная графика»;

Божко Аркадий Николаевич – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», доцент кафедры РК-6 «Системы автоматизированного проектирования».

Ведущее предприятие: ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Защита состоится «30» января 2018 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.021.03 при ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» по адресу: 241035, г. Брянск, ул. Харьковская, д. 10-Б, учебный корпус №4, ауд. Б101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Брянского государственного технического университета и по адресу в сети интернет <http://www.tu-bryansk.ru/content/nauka/zacsh>.

Автореферат разослан «___» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук

Рытов Михаил Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Одним из важных этапов автоматизации технической подготовки производства (ТехПП) является проектирование изделий. К основным преимуществам автоматизации ТехПП относятся снижение материальных затрат на проектирование, повышение качества проектных решений и сокращение сроков проектирования.

Проектирование гидравлических станций является сложной и трудоемкой задачей, зачастую для проектирования гидравлической станции требуется совместная работа нескольких инженеров-конструкторов и использование автоматизированных средств поддержки принятия рациональных технических решений.

В большинстве случаев системы автоматизированного проектирования используются создания трехмерных моделей элементов гидравлических станций и оформления конструкторской документации. Расчет основных технических параметров, подбор комплектующих, верификация проекта инженером выполняется без использования автоматизированных систем.

При разработке новых вариантов компоновки гидравлической станции проектировщик тратит большое количество времени на поиск необходимых компонентов, анализ их конструкции и т.д. Применение метода морфологического анализа гидравлических станций, позволяет выделить множество возможных альтернатив конструкций и выбрать из них рациональное решение.

Анализ работ по проектированию объемных гидроприводов показал, что основной проблемой является высокая трудоемкость и временные затраты на проектирование. На этапе разработки насосной гидростанции большая часть времени уходит на синтез гидравлической схемы, подбор комплектующих и создание 3D-моделей элементов. Полученная гидравлическая схема нуждается в проверке на теоретическую работоспособность. Существующие системы верификации – это, в основном, коммерческие продукты, ориентированные на зарубежные стандарты и комплектующие конкретного производителя.

В диссертации предлагается метод автоматизированного проектирования насосных гидростанций с помощью морфологического анализа. Эта задача является важной и актуальной для поддержки принятия рациональных проектных решений при проектировании насосных станций.

Целью работы является сокращение трудоемкости, повышение производительности и качества проектирования гидравлических станций высокого и низкого давления за счет применения методов морфологического анализа, экспертных оценок, анализа иерархий, парных сравнений и представлением компонентов гидравлической станции в виде И-ИЛИ-дерева

Для достижения данной цели в работе решены следующие задачи:

1. Разработана структурно-функциональная схема САПР гидравлических станций высокого и низкого давления и всех видов ее обеспечения.

2. Сгенерирован исходный набор альтернатив конструкции гидравлической станции с использованием метода морфологического анализа и формирование комбинаторного пространства их представления в виде И-ИЛИ-дерева.

3. Разработан метод выбора альтернатив конструкций гидравлических станций с помощью метода анализа иерархий. Разработан алгоритм проверки теоретической работоспособности проектируемых принципиальных гидравлических схем.

4. Разработан алгоритм для автоматизации расчетов основных параметров объемного гидропривода, а именно трех его подсистем энергообеспечивающей, исполнительной, направляющей и регулирующей.

5. Разработаны базы данных элементов насосных станций и их изображений. Разработана библиотека параметрических моделей элементов гидравлической станции, определяющих компоновку станции в зависимости от определенных условий.

6. Создана трехмерная модель гидравлической станции, которые учитывают не только связи между элементами, но и их геометрические особенности.

Методы исследования. В диссертации использовались методы системно-структурного анализа; морфологического анализа и синтеза; теории графов и принятия решений. При разработке программных модулей использовались методы объектно-ориентированного и структурного программирования.

Научная новизна работы:

1. Разработан метод создания системы автоматизированного проектирования гидравлических станций высокого и низкого давления с использованием методов морфологического анализа, экспертных оценок, анализа иерархий, парных сравнений и представлением компонентов гидравлической станции в виде И-ИЛИ-дерева.

2. Разработан метод анализа теоретической работоспособности гидравлических схем и алгоритм проверки работоспособности для САПР гидравлических станций, отличающиеся представлением принципиальной гидравлической схемы в виде множества упорядоченных пар отношений элементов гидравлической станции.

3. Предложен метод автоматизации проектирования насосных гидравлических станций высокого и низкого давления с использованием метода морфологического анализа и синтеза, позволяющий существенно сократить сроки проектирования гидравлических станций.

Практическая значимость работы:

1. Разработана САПР гидравлических станций, позволяющая существенно сократить время конструкторской подготовки производства гидравлических станций, повысить качество выпускаемой технической документации.

2. Создана база данных элементов гидравлической станции, которая позволяет подбирать компоненты и компоновки гидравлической станции, а

также проводить проверку теоретической работоспособности гидравлических схем.

Реализация результатов работы. Созданная автоматизированная система проверки работоспособности гидравлических схем и построения трехмерных моделей гидравлической станции внедрена на ООО «Борокс-Гидравлика» (г.Брянск), ООО «НПО» «Гидросфера» (г.Москва), ООО «Завод промышленного оборудования» (г. Санкт-Петербург).

Апробация работы. Основные научные и практические результаты работы докладывались на региональной научно-практической конференции «Инновации 2016» (Брянск, 2016); международной научно-практической конференции (Брянск, 2016); 1-й конференции международной школы молодых ученых и специалистов (Москва, Металлообработка-2016).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ. Две публикации, индексированные Scopus и три статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем работы 135 страниц машинного текста, 35 рисунков, 14 таблиц, 6 приложений и список литературы из 90 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована научная новизна и актуальность темы диссертации, цель диссертационной работы, указываются применяемые в работе методы, проводится краткое описание выполненной работы.

В первой главе приводится общая характеристика насосных гидравлических станций и описания узловых структур. Рассмотрена автоматизация проектирования гидравлических станций с помощью метода морфологического анализа в условиях применения интегрированных САПР. Рассматривается возможность автоматизации проектирования технических объектов с использованием метода морфологического анализа.

Проведен анализ исследований в автоматизации проектирования технических объектов с использованием морфологического анализа. Было выявлено что в работах основоположника морфологического анализа Ф. Цвикки, которые развивались рядом других исследователей, в частности В.М. Одриным и С.С. Картавовым и другими, основное внимание уделяется самой методологии морфологического анализа, а вопрос моделирования морфологического множества исследован недостаточно.

Вопросы проектирования машиностроительных объектов, которые входят в состав объемного гидропривода рассматривались, в работах В.И. Аверченкова, А.Н. Феофанова Л.А. Антипина, В.Б. Ильицкого, В.В. Микитянского, Ю.Н. Кузнецова и др.

Оказалось, что подавляющее большинство исследований направлены на оптимизацию процедуры повышения долговечности компонентов объемного гидропривода и параметров функционирования.

Установлено, что в настоящее время не разработаны САПР, способные осуществлять весь цикл проектирования энергообеспечивающей и направляющей подсистемы объемного гидропривода, проверки работоспособности и получения твердотельных моделей изделия и комплекта конструкторской документации. При отсутствии на предприятии проекта, удовлетворяющего техническим требованиям, процедура проектирования сводится к выбору уже существующих решений или к частичной автоматизации расчета основных параметров, который опирается на справочную литературу и опыт конструктора.

Обоснована актуальность создания САПР гидравлических станций высокого и низкого давления и выбора компоновки с учетом технического задания (ТЗ) и гидравлической схемы.

Показано, что процесс автоматизации проектирования гидравлических станций, с учетом особенностей компонентов, лучше всего производить с помощью геометрической параметризации, позволяющей наиболее гибко редактировать модели. Проблема параметризации машиностроительных объектов рассматривалась в работах В.И. Аверченкова, А.В. Аверченкова, М.Ю. Рытова, А.Н. Божко, В.А. Беспалова и др. При этом под параметризацией понимается изменение геометрических и не геометрических параметров модели объекта проектирования.

Приведен анализ современных отечественных и зарубежных САД-систем, на основе которого было установлено, что система Компас 3D v13 является подходящей основой для создания автоматизированной системы проектирования гидравлических станций. Существенную роль в выборе системы сыграло предприятие ООО «Борокс-Гидравлика», которое в большей степени использует данную систему и заинтересовано в разработке САПР гидравлических станций.

Во второй главе описано математическое обеспечение процесса проверки гидравлической схемы и подбора конструкции гидравлической станции по разработанной схеме. Выполнен морфологический анализ узловых структур гидравлической станции и разработано морфологическое И-ИЛИ - дерево компонентов гидравлических станций.

К основным задачам, на решение которых ориентировано математическое обеспечение, относятся формирование исходного набора альтернатив компонентов гидравлической станции, представление проектируемой принципиальной гидравлической схемы в виде бинарной матрицы, оценивание альтернатив и их ранжирование с учетом предпочтительности, расчет основных параметров гидравлических станций.

Гидравлические схемы, в зависимости от типов их назначения, разделяют:

- структурные;
- принципиальные;
- соединительные.

В виду большого количества видов гидравлических схем, в рамках данной работы рассматривались принципиальные гидравлические схемы, которые определяют полный состав элементов и дают определение о принципах работы изделия.

Для описания принципиальной гидравлической схемы, разработаны специальные таблицы, позволяющие анализировать исходную информацию и в зависимости от состава элементов, рассматриваемой схемы, формировать общую математическую модель привода.

Принципиальная схема проектируемой системы не содержит информации о математическом представлении ее составных элементов. Большинство физических схем можно представить в виде цепи, состоящей из объединенных между собой через внешние узлы типовых компонент. На рис. 1,а представлена простейшая гидравлическая схема объемного гидропривода, для формирования матрицы отношений между элементами, целесообразно структуру разработанной принципиальной гидравлической схемы, описать посредством идентификации элементов и нумерации узлов.

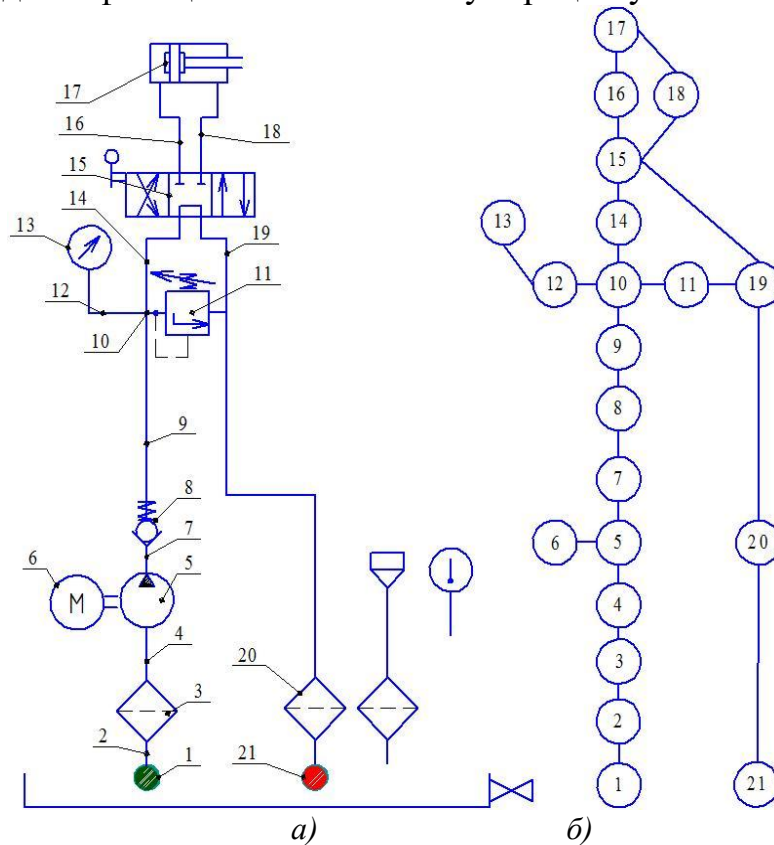


Рис.1. Гидравлическая схема объемного гидропривода (а), преобразованная гидравлическая схема объемного гидропривода (б)

Для реализации алгоритма проверки теоретической работоспособности принципиальной гидравлической схемы, необходимо ее преобразовать (рис. 1,б) и представить в виде математической модели, которая описывается матрицей отношений. Преобразованная гидравлическая схема представляет собой множество элементов:

$$A = \{a_1, \dots, a_n\}, \quad (1)$$

n – число элементов, используемых в гидравлической схеме.

Так как множество элементов является конечным, то любое бинарное отношение на A можно задать списком упорядоченных пар, содержащихся в этом бинарном отношении. Пусть $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ и ρ - бинарное отношение на A . Тогда матрицей отношений ρ называется квадратная матрица размера $n \times n$, состоящая из нулей и единиц, такая, что в пересечении i -й строки и j -го столбца стоит 1 тогда и только тогда, когда:

$$a_i \rho a_j \quad \forall i, j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где ρ - бинарное отношение на A .

На множестве элементов $A = \{a_1, \dots, a_n\}$, матрица отношений ρ имеет вид:

$$M = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

По матрице отношений можно однозначно определить взаимосвязь элементов друг с другом, расположение элемента в гидравлической схеме и точку перехода между напорной и сливной линией. Задав необходимые свойства каждого элемента, и зная его расположение в гидравлической схеме, можно проводить проверку на работоспособность гидравлической схемы.

Для выбора конструкций гидравлической станции, необходимо иметь описание основных элементов станции и алгоритмы оценки показателей каждого элемента. При помощи метода морфологического анализа (рис. 2) был выявлен набор альтернатив конструкций гидравлических станций и представлен в виде И-ИЛИ-дерева.

Создаваемое морфологическое множество рассматриваемых технических объектов должно включать в себя множество структурных решений и конструктивные исполнения гидравлических станций. Такое множество должно быть полностью или частично упорядоченным по типам элементов, входящих в структуру гидравлических станций.

Для описания морфологического множества конструкции в виде И-ИЛИ-дерева была предложена следующая последовательность действий:

- Выделение основных элементов конструкции гидростанции.
- Определение типов этих элементов конструкции.
- Составление системы типов элементов.

Обозначим исходное И-ИЛИ-дерево гидравлической станции как T , а через M - модель узла этого дерева. И-ИЛИ-дерево содержит узлы трех типов: «И», «ИЛИ» и терминальный. Терминальный узел является альтернативным вариантом элемента гидравлической станции. Дерево можно представить в виде

$$M = (I_M, \gamma_M, R, S_M), \quad (4)$$

где I_M - имя вершины;

γ_M - тип узла;

R - родительский узел;

S_M - множество подчиненных узлов.

Для всех существующих вариантов альтернатива X представляет собой решающее поддерево исходного дерева T и определяется рекурсивно следующим образом:

$$M_0 \in X, \quad (5)$$

где M_0 - корневая вершина дерева T ;

если $M \in X$ и $\gamma = \langle \text{И} \rangle$, то

$$\forall \gamma \in S_M, \quad (6)$$

если $M \in X$ и $\gamma = \langle \text{ИЛИ} \rangle$, то

$$\exists \gamma \in S_M, \quad (7)$$

где $\gamma \in X$.

Необходимо определить количество альтернатив исходного морфологического И-ИЛИ-дерева. Пусть K – подмножество узлов, непосредственно детализируемых терминальными узлами.

$$K = \{K_1, K_2, \dots, K_p\}, \quad (8)$$

где p - число таких узлов. В соответствии со структурой гидравлической станции (рис. 2) $p = 18$.

Опишем подмножество узлов S_L , дочерних узлу K_L :

$$S_L = \{S_1^L, S_2^L, \dots, S_{n_L}^L\}, \quad (9)$$

где n_L – количество всех элементов множества S_L .

Сопоставим название элементов гидравлической станции с введенными обозначениями. В результате получим:

$K = \{\text{тип приводящего двигателя, вид насоса, гидрораспределители, контроль давления, контроль расхода, монтажные плиты, гидроаккумуляторы, всасывающие фильтры, напорные фильтры, сливные фильтры, баки, манометры, теплообменники, заливные горловины, уровнемеры, колокола, муфты}\}.$

$S_1 = \{\text{электродвигатель, бензодвигатель, пневмодвигатель}\}.$

$S_2 = \{\text{шестеренный, пластинчатый, поршневой}\}.$

$S_3 = \{\text{ручное управление, электромагнитное управление, гидравлическое управление, пневматическое управление}\}.$

$S_4 = \{\text{предохранительный клапан, редуциционный клапан, клапан последовательности, реле давления}\}.$

$S_5 = \{\text{обратный клапан, дроссель, гидрозамок, регулятор расхода}\}.$

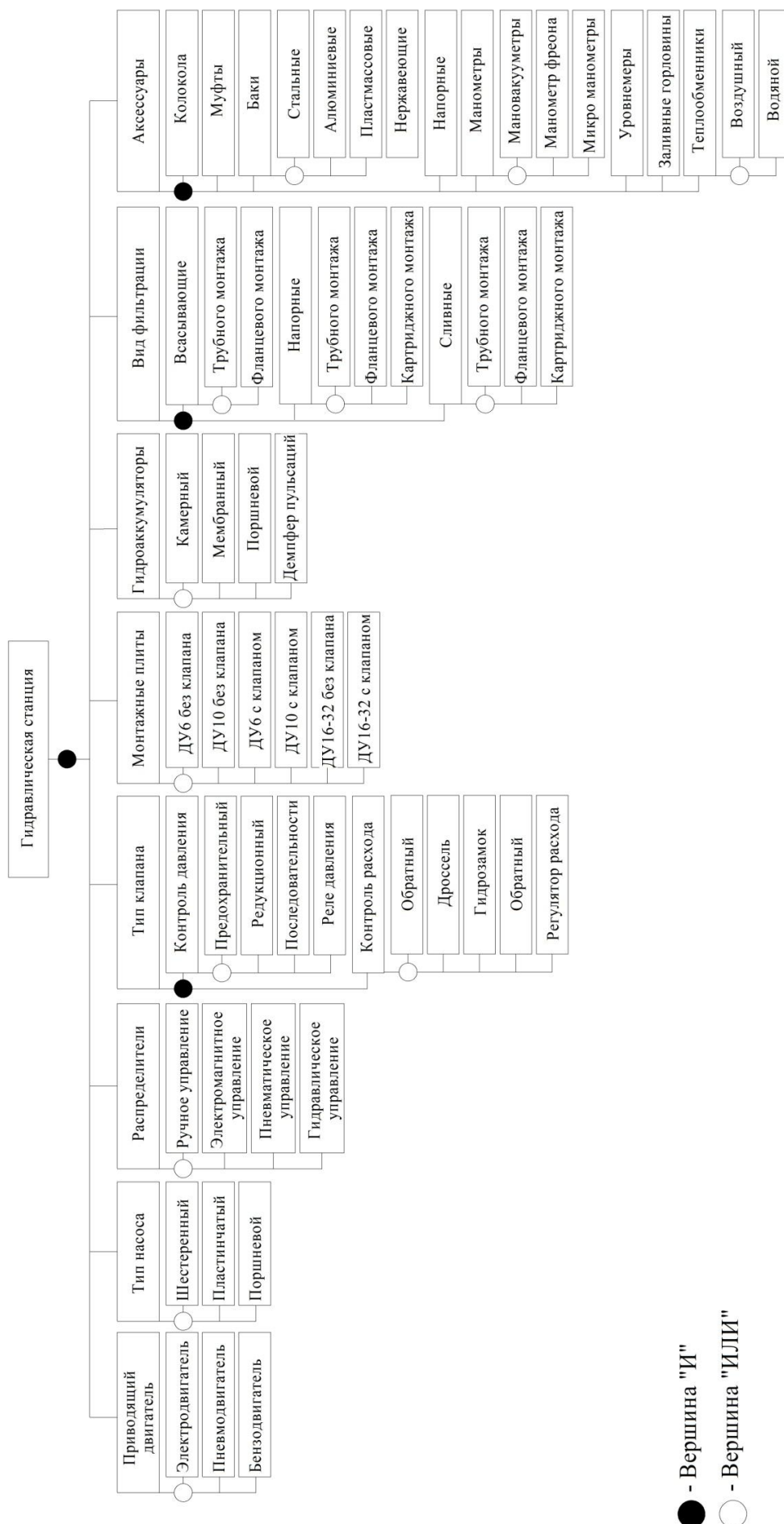
.....

$S_{11} = \{\text{стальные, алюминиевые, пластмассовые, нержавеющей}\}.$

$S_{12} = \{\text{мановаккумеры, манометр фреона, микро манометр}\}.$

$S_{13} = \{\text{водяной теплообменник, воздушный теплообменник}\}.$

В данной работе типы узлов $S_{14}, S_{15}, S_{16}, S_{17}, S_{18}$ будут иметь только одно конструктивное исполнение. Это объясняется особенностями устройств, типом конструкции данных компонентов.



● - Вершина "И"
○ - Вершина "ИЛИ"

Рис.2. Набор альтернатив конструкций гидравлической станции, представленный в виде И-ИЛИ-дерева

Используя И-ИЛИ-дерево задающее морфологическое пространство гидравлических станций, можно однозначно идентифицировать конструкцию гидравлической станции, но это не дает возможность выбрать конструкцию компонента гидравлической станции. Выбор рациональной конструкции компонента, который включен в состав гидравлической станции, трудно выполнить по одному или набору формальных критериев, поэтому воспользуемся методом экспертных оценок и парных сравнений.

На предпочтительность того или иного узла гидравлической станции помимо номинального давления, расхода и температуры влияют целый ряд дополнительных параметров, к которым относятся надежность и технологичность конструкции, стоимость, режимы работы и др.

Для выбора рационального узла гидравлической станции, необходимо произвести парное сравнение весов критериев исходя из основной задачи. Для каждого критерия определяются относительные веса парного сравнения оцениваемых вариантов. Результаты парных сравнений представляются в виде матрицы:

	B_1	B_2	...	B_j	...	B_n
B_1	b_{11}	b_{12}	...	b_{1j}	...	b_{1n}
B_2	b_{21}	b_{22}	...	b_{2j}	...	b_{2n}
...
B_j	b_{j1}	b_{j2}	...	b_{jj}	...	b_{jn}
...
B_n	b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nj}	...	b_{nn}

где b_{ij} - весовое отношение i -го фактора к j -му.

В данной матрице представляются результаты парного сравнений вариантов для каждого критерия. Решение сводится к нахождению собственных весов критериев, которые будут определяться собственным вектором матрицы.

$$Bx = \lambda x, (a - \lambda E)x = 0, \quad (11)$$

где x – собственный вектор матрицы;

E – единичная матрица;

λ - собственное число матрицы.

Чтобы найти собственный вектор матрицы, используется метод итерационных вычислений, а определитель матрицы находится с помощью метода Гаусса.

На заключительном этапе необходимо произвести упорядочивание и ранжирование всех весов и вариантов компоновки для каждой альтернативы, полученных ранее, в результате определения собственных векторов матриц парного сравнения:

$$\begin{array}{c|cccc}
 C_i & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\
 \hline
 W_i & w_1 & w_2 & \dots & w_n
 \end{array} , \quad (12)$$

C	C_1	C_2	...	C_n
B_1	v_{11}	v_{12}	...	v_{1n}
...
B_j	v_{j1}	v_{j2}	...	v_{jn}
...
B_k	v_{k1}	v_{k2}	...	v_{kn}

(13)

где $C_1..C_n$ – критерии;

w_i – вес критериев;

v_{ji} – вес вариантов конструкции узлов.

Все альтернативы $x \in X$ по i -му критерию будут иметь оценку:

$$C_i(x) = \frac{C_i(B_{i,R})}{\sum_{\lambda, x \in A_{i,R}} N_x(B_{i,x}) \cdot C_i(B_{i,x})}, \quad (14)$$

где $C_i(B_{i,R})$ - оценки вариантов множества $B_{i,R}$ по критерию C_i , полученные методом парных сравнений;

$N_x(B_{i,x})$ - число альтернатив во множестве $B_{i,x}$.

Критерии, которые были введены при оценке альтернатив, можно рассматривать как функции цели. Для выбора варианта конструкции узла, необходимо выбрать альтернативу с учетом функции цели. Для этого необходимо выбрать вариант, имеющий максимальное значение суммы, а для определения весов матрица 13 умножается на матрицу 12. Вариант, обладающий наибольшим весом, является предпочтительным.

Аналогичным образом проводится оценка вариантов компоновки элемента по другим критериям.

Третья глава посвящена анализу методов использующихся при разработке САПР. Разработана структурно-функциональная схема САПР гидравлических станций (рис. 4) и алгоритмы работы модулей системы.

Согласно обобщенной модели системы - модели «черного ящика», система автоматизированного проектирования гидравлических станций представляет собой средство преобразования входной информации в выходную (рис. 3).

Входной информацией данного процесса является описание проектируемого объекта, которое содержится в техническом задании.

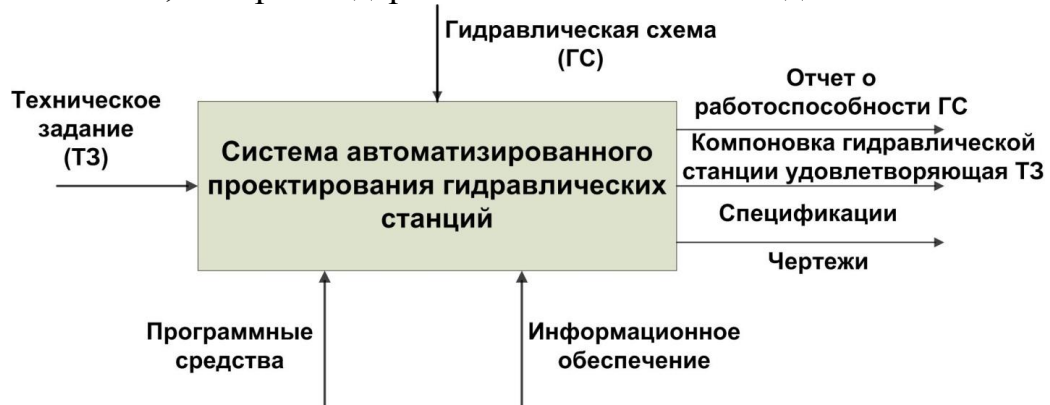


Рис.3. Обобщенная функциональная модель САПР

Входной информацией для системы служит ТЗ, которое задает основные технические параметры разрабатываемого объекта. Функциональное назначение системы будет определяться конструкторской документацией, графическими моделями и текстовыми документами.

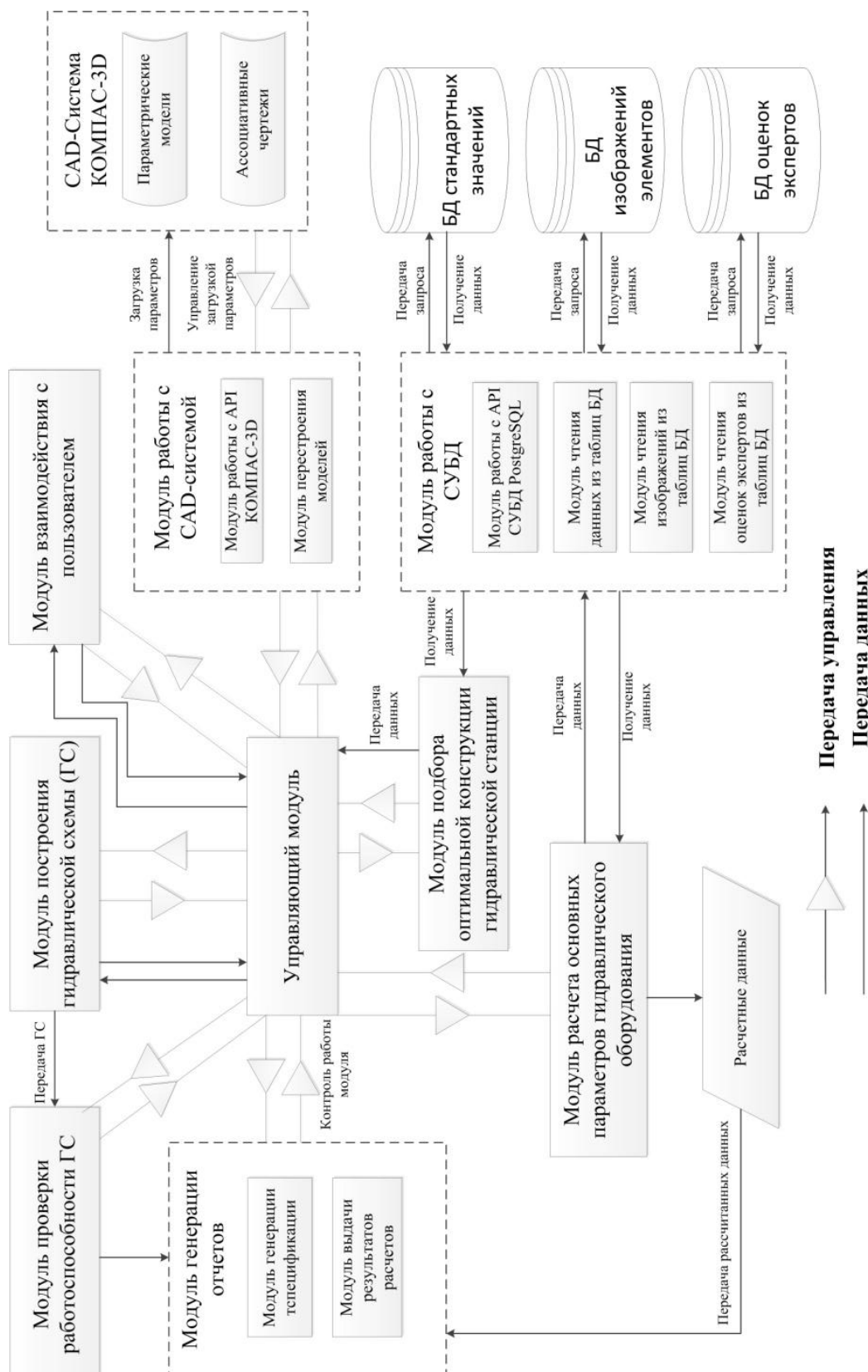


Рис. 4. Структурно функциональная схема САПР гидравлических станций

Структурно-функциональная схема САПР гидравлических станций представлена на рис.4. Данная схема включает в себя следующие модули:

- управляющей модуль;
- модуль взаимодействия с пользователем;
- модуль построения гидравлической схемы;
- модуль проверки работоспособности гидравлической схемы;
- модуль работы с САД-системой Компас 3D v13;
- модуль генерации оптимальной конструкции гидравлической станции;
- модуль расчета основных параметров гидравлического оборудования;
- модуль генерации отчетов;
- модуль работы с СУБД;
- базы данных;
- параметризованные 3D модели элементов гидравлической станции;
- ассоциативные чертежи сборки гидравлической станции.

Все эти модули разрабатываются независимо друг от друга. Базы данных содержат необходимые данные, параметры основных узлов гидравлической станции, правила построения параметрических моделей, сведения о вспомогательных элементах, правила формирования сборочных моделей, созданные библиотеки элементов, различные константы и др.

Разработан алгоритм проверки теоретической работоспособности гидравлической схемы (рис.5). Исходной информацией, для алгоритма являются: расчетные параметры гидравлической станции, разработанная проектировщиком гидравлическая схема и атрибуты элементов гидравлической схемы.

В начале работы алгоритма, инициализируется матрица отношений между элементами, которая строится на основании разработанной гидравлической схемы пользователем. После инициализации матрицы происходит цикл последовательного анализа, то есть ищутся связи между i -м и j -м элементами, если такой связи нет, то происходит проверка на конечный элемент. Результатом такой проверки может быть отрицательным, поэтому необходимо проверить, не является ли элемент тупиковым, такими элементами могут быть манометр, реле давления, приводящий двигатель и др. Если элемент является тупиковым, то происходит дальнейшая проверка.

При наличии связи между элементами проверяется корректность расположения элемента относительно разработанной гидравлической схемы. После всех действий i -му элементу присваивается j -й номер, и цикл повторяется до тех пор, пока не будет найден конечный элемент.

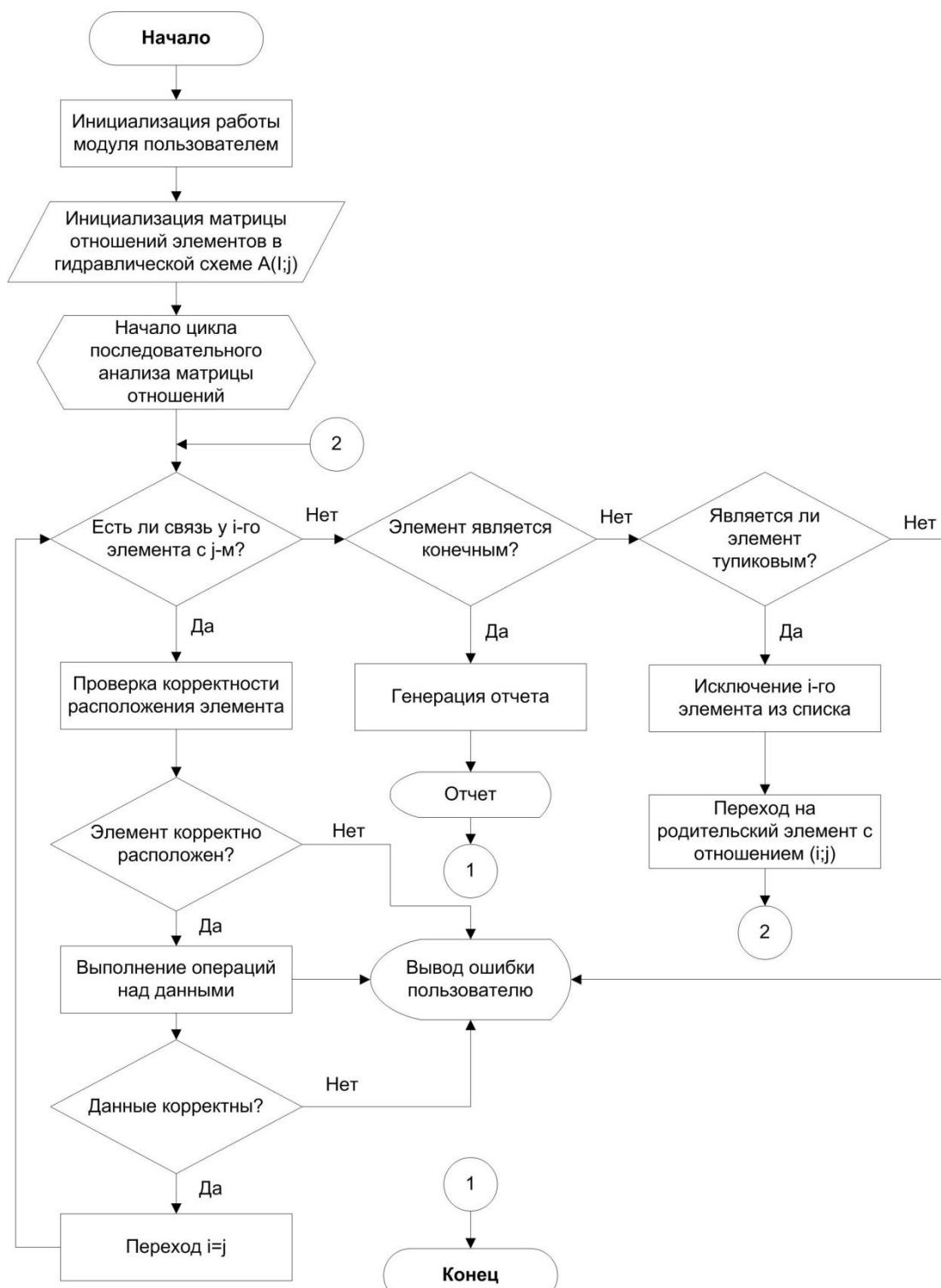


Рис.5. Алгоритм проверки работоспособности гидравлической схемы

Для описания модели представления знаний о насосных гидравлических станциях использовались параметрические модели элементов, представляющие собой перечень конструктивных параметров и отношений между ними. Элементы гидравлической станции хранятся в БД в виде параметрических моделей с определенным набором параметров.

Четвертая глава посвящена выбору программного, технического и лингвистического обеспечения системы, а также разработке информационного обеспечения САПР гидравлических станций.

В качестве лингвистического обеспечения был выбран язык программирования Java, так как он имеет всё необходимое для разработки системы. Предложена структура базы данных в СУБД PostgreSQL, которую для наглядного представления можно условно разделить на группы таблиц, предназначенных для описания параметров элементов гидравлической станции.

Результатом работы по созданию САПР стала система, обеспечивающая построение гидравлической схемы разрабатываемой станции, проверку корректности разработанной схемы и формирование твердотельной модели гидравлической станции, конструкция которой учитывает определенные условия и разработанную схему.

Построение 3D-моделей осуществляется с помощью CAD-системы Компас 3D v13. В созданной системе заложена возможность редактирования параметрических моделей элементов.

В пятой главе рассмотрен порядок проектирования гидравлического оборудования с использованием разработанной системы. Сформулированы минимальные требования к программному, информационному и техническому обеспечению автоматизированной системы проектирования гидравлического оборудования. Проведена оценка технико-экономической эффективности от использования разработанной программы. Интерфейс программы представлен на рис.6.

Приведена методика присвоения маркировки гидравлической станции с электро-, бензо-, пневмоприводом, предназначенные для обеспечения гидравлической энергией одного или нескольких исполнительных гидроустройств - промышленного гидравлического инструмента высокого давления - домкраты, гайковерты и др., применяемых при проведении сборочных, монтажно-демонтажных и ремонтных работ в промышленности, строительстве, на транспорте и т.п.

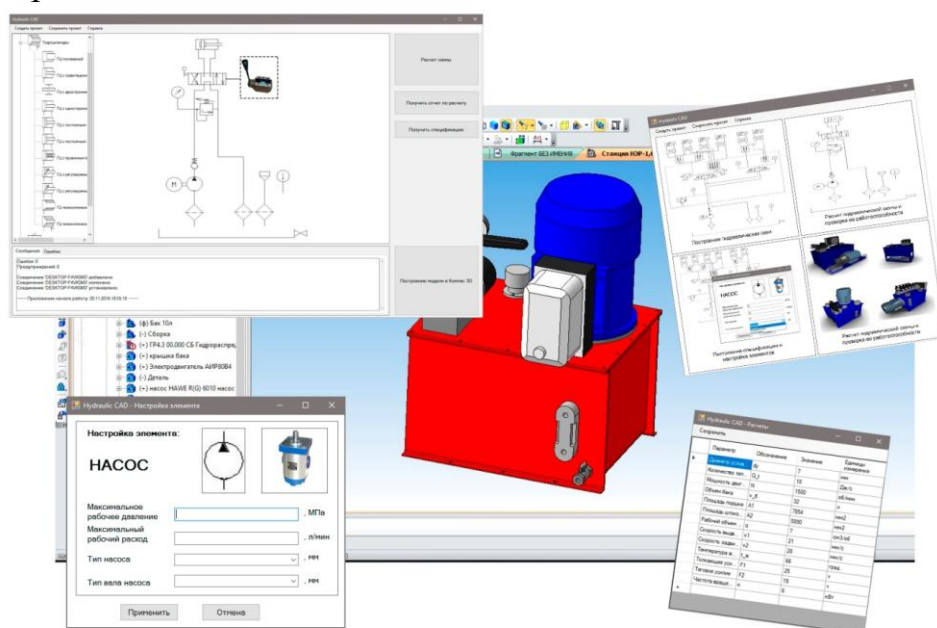


Рис.6. Рабочие окна системы автоматизированного проектирования HydraulicsCAD

Разработанная система автоматизированного оборудования внедрена в организации ООО «Борокс-Гидравлика». Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017615879. Система автоматизированного проектирования гидравлических схем «HydraulicsCAD».

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана структурно - функциональная схема системы автоматизированного проектирования гидравлических станций высокого и низкого давления, также разработаны все виды обеспечения САПР гидравлических станций.

2. Проведен морфологический анализ множества аналогов и прототипов и получен базовый набор альтернатив конструкций гидравлических станций. Комбинаторное пространство альтернатив представлено в виде И-ИЛИ-дерева, которое систематизирует конструкторские решения в данной области и позволяет повысить эффективность проектирования за счет сокращения рутинных работ и выбора рациональных компоновок гидравлических станций.

3. Предложена методика выбора альтернатив конструкции гидравлических станций высокого и низкого давления, основывающаяся на методе морфологического анализа, которая позволяет подбирать конструкции гидравлической станции удовлетворяющие ТЗ.

4. Разработана методика проверки теоретической работоспособности гидравлической схемы, основывающаяся на применении варианта замещения гидравлической схемы графом для создания бинарной матрицы отношений между элементами, которая позволяет однозначно определить место положения элемента в гидравлической схеме.

5. Разработан метод представления принципиальной гидравлической схемы в виде математической модели, который основывается на принципе замещения гидравлической схемы бинарной матрицей отношений между элементами схемы, позволяющий проводить проверку теоретической работоспособности принципиальной гидравлической схемы.

6. Сформированы библиотеки параметрических моделей элементов гидравлической станции, которые можно использовать при построении твердотельных моделей гидравлического оборудования. Разработана сборочная трехмерная модель насосной гидравлической станции, учитывающая не только связи между объектами, но и геометрические особенности объектов, позволяющая подбирать оптимальную компоновку гидравлической станции

7. Разработаны специализированные модули, обеспечивающие корректное функционирование системы автоматизированного проектирования насосных гидравлических станций высокого и низкого давления, использующие функционал САД-системы Компас 3D v13.

8. Создана система автоматизированного проектирования гидравлических станций, интегрированная с системой трехмерного моделирования

Компас 3D v13, которая позволяет сократить сроки проектирования насосных гидравлических станций и повысить качество проектных решений.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в издательствах, рекомендованных ВАК России:

1. Орехов Д.В. Разработка специализированных модулей конструкторской подготовки для формирования заказа объемного гидропривода / А.В. Аверченков, А.Н. Козленков, Д.В. Орехов // Вестник БГТУ. – 2016. - №3(51). – С. 175-185.

2. Орехов Д.В. Разработка системы автоматизированного проектирования гидравлических домкратов / А.В. Аверченков, В.В. Колякин, Д.В. Орехов // Вестник БГТУ. – 2016. - №4(52). – С. 160-170.

3. Орехов Д.В. Выбор оптимальной конструкции гидравлической станции с помощью морфологических методов / А.В. Аверченков, Д.В. Орехов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. - №11(118). – С.83-93.

Патенты, свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017615879. Система автоматизированного проектирования гидравлических схем «HydraulicsCAD» / Д.В. Орехов, А.В. Аверченков, М.В. Терехов. – 25.05.2017.

Публикации в иностранных изданиях, входящих в наукометрические базы данных Scopus и Web of Science:

5. Orekhov D.V. Issues of a computer-aided design of hydraulic jacks / V.I. Averchenkov, A.V. Averchenkov, V.V. Kolyakin, D.V. Orekhov // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, Russian Federation. – 2015, Volume 124, Issue 1.

6. Orekhov D.V. Automation of engineering preparation of volumetric hydraulic actuator production in a small company / A.V. Averchenkov, E.A. Leonov, D.V. Orekhov // Procedia Engineering. – 2017. – P. 1015–1022

Публикации в других научных журналах и изданиях:

7. Орехов Д.В. Целесообразность внедрения САПР на малом предприятии / Д.В. Орехов, М.В. Терехов // Международная молодежная конференция. Сб. тез. докл. – Курск. – 2013. – С. 227-229.

8. Орехов Д.В. Необходимость автоматизации проектирования гидравлического оборудования в условиях малого предприятия / А.В. Аверченков, В.И. Аверченков, В.В. Колякин, Д.В. Орехов // Международная научно-практическая конференция. Сб. тез. докл. – Рыбница. – 2015 – С. 257-260.

9. Орехов Д.В. Разработка системы автоматизированного проектирования гидравлического оборудования / Д.В. Орехов // Региональная научно-практическая конференция «Инновации 2016». Сб. тез. докл. – Брянск: 2016 – С. 32-33.

10. Орехов Д.В. Автоматизация проектирования гидравлических домкратов в условиях малых инновационных предприятий / А.В. Аверченков, В.В. Колякин, Д.В. Орехов // Молодой ученый. – 2015. – №21.2(101.2). – С. 13-16.

11. Орехов Д.В. Разработка системы автоматизированного проектирования гидравлического оборудования на примере гидравлических домкратов одностороннего действия / Д.В. Орехов, М.В. Терехов, Л.Б. Филиппова // Международная школа молодых ученых и специалистов в области робототехники, производственных технологий и автоматизации. Сб. тез. докл. – Москва. – 2016. – С.22-25.

12. Орехов Д.В. Повышение эффективности производства и уровня знаний специалистов в сфере разработки объемного гидропривода за счет создания специализированных модулей / Д.В. Орехов // Международная научно-практической конференции. Сб. тез. докл. – Брянск. – 2016. – С. 157-160.

13. Орехов Д.В. Вопросы автоматизации и управления на малом предприятии, занимающимся производством объемного гидропривода / Д.В. Орехов, Е.В. Макаренко // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Сб. – Тамбов. – 2017. – С. 166-177.

Подписано в печать «___» декабря 2017 года. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Офсетная печать. Печ.л. 1.Т.100 экз. Заказ №____. Бесплатно.

Брянский государственный технический университет,

241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7.

Лаборатория оперативной полиграфии БГТУ, ул. Институтская, 16.